

ДВУХВХОДНЫЕ РАМОЧНЫЕ АНТЕННЫ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ПОЛЯ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Кеда В.В., Садовский И.С., Юрцев О.А.

Описаны новые конструкции рамочных антенн с низким уровнем кросс-поляризации, в которых реализованы возможности управления поляризацией путём возбуждения антенны по двум развязанным входам либо переключением входов. Приведены результаты расчёта характеристик новых антенн и их сравнение с характеристиками антенны опубликованной ранее.

DUAL-INPUT LOOP ANTENNAS WITH LOW LEVEL OF ORTHOGONAL POLARIZED FIELD

U.V. Keda, I.S. Sadovsky, O.A. Yurtsev

New designs of loop antennas with the low level of cross-polarization in which possibility of polarization control by excitement of the antenna on two isolated inputs or by switching of inputs is implemented are described. Results of calculation of characteristics of new antennas and their comparison with characteristics of the antenna published earlier are given.

Введение

Применение антенн с управляемой поляризацией в радиолокационной технике позволяет повысить помехозащищенность и возможности радиолокационных систем [1]. В сантиметровом диапазоне, для управления поляризацией, нашли применение антенны в виде ортогонально расположенных вибраторов [2] или щелей [3] с развязанными входами, либо квадратная патч-антенна с переключаемыми входами [3]. Однако, названные типы антенн не подходят для использования в радиолокаторах метрового и дециметрового диапазонов волн, работающих в относительной полосе частот более 10%. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование рамочных антенн. Рамочные антенны превосходят вибраторные по своим диапазонным свойствам и КНД. В статьях [4, 5] описаны рамочные антенны, в которых управление поляризацией осуществляется путем переключения их входов, однако не рассмотрена возможность управления их поляризацией путём возбуждения антенны по двум развязанным входам. Кроме того, в описанной антенне присутствует заметное излучение с кросс-поляризацией, обусловленное несимметричной конструкцией согласующих элементов относительно главных плоскостей симметрии.

Целью работы является разработка новых конструкций рамочных антенн, предназначенных для использования в составе антенных решёток с управляемой поляризацией, лишенных недостатков, присущих описанной в литературе [4,5] антенне. Разработаны две конструкции рамочных антенны и математическая модель для их исследования. В математической модели использовано уравнение Поклингтона для тока в тонких проводниках [6]. Интегральное уравнение решается методом Галеркина при использовании в качестве базисных и весовых функций – импульсных функций подобластей. На основе математической модели разработана программа численного моделирования, позволяющая рассчитывать характеристики и параметры, как отдельного излучателя, так и излучателя в составе антенной решётки. Проверка адекватности математической модели проводилась путём сравнения результатов, полученных в разработанной программе с результатами, полученными в ходе эксперимента. Приводится сравнение результатов моделирования трех вариантов антенн: варианта описанного в [4,5] и двух новых вариантов.

Конструкция антенн

Конструкция и схемы возбуждения первого варианта антенны [4,5] показаны на рис.1 и рис.2. Управление поляризации в данной антенне осуществляется путём коммутации входов.

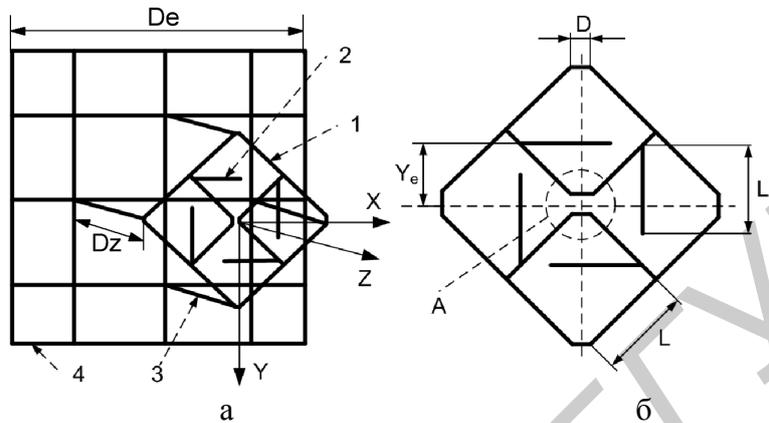


Рис.1. Конструкция рамочной антенны с управляемой поляризацией

На рисунке 1а: 1 – четырехэлементная рамка; 2 – согласующие элементы; 3 – металлические стойки; 4 – рефлектор; Dz – расстояние между плоскостями расположения рамок и рефлектора; De – длина стороны квадратного рефлектора.

На рисунке 1б: D – длина перемычек в углах рамок; L – длина стороны рамок; Le – длина согласующего элемента; Ye – координата места включения согласующего элемента относительно центра антенны; A – центральная часть антенны, в которой производится переключение поляризации.

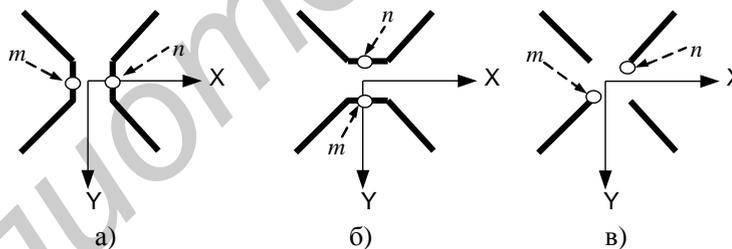
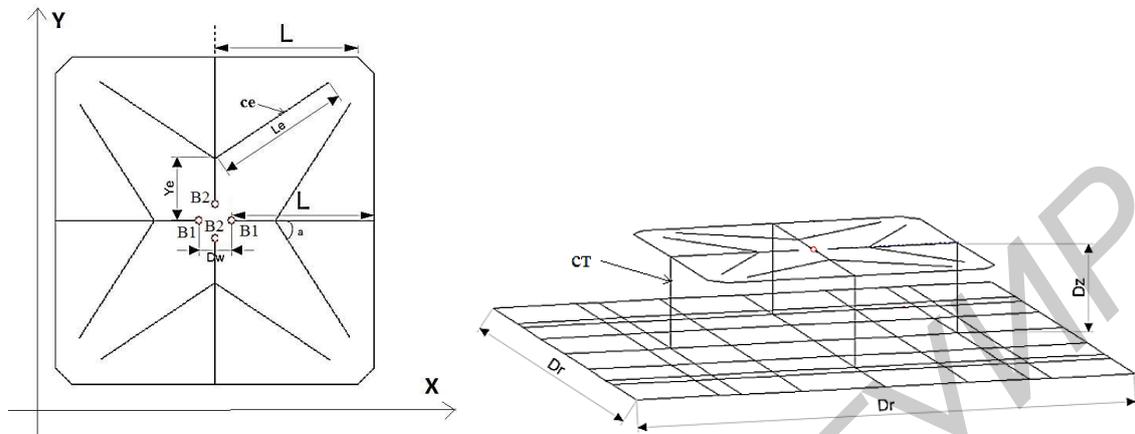


Рис. 2. Схемы возбуждения антенны для получения различной поляризации:

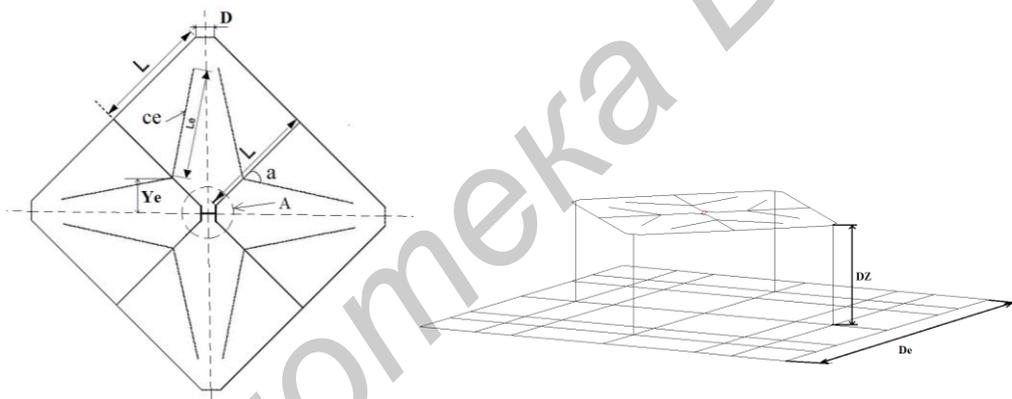
а – линейная горизонтальная, б – линейная вертикальная, в – линейная наклонная.

Второй вариант антенны (рис.3) представляет собой модификацию первого варианта антенны при возбуждении в антенне двух линейных, наклонных по отношению сторонам системы рамок, поляризаций. Отличия заключаются в конфигурации согласующих элементов и способе управления поляризации. Управление поляризацией осуществляется путем возбуждения антенны по двум развязанным входам В1 и В2 (рис.2-а). По входу В1 возбуждается излучение с горизонтальной поляризацией, по входу В2 – с вертикальной. Для получения однонаправленного излучения антенна дополнена рефлектором (рис.2-б). Стойки СТ выполнены из металла и служат для крепления рамки к рефлектору. Из рис.2 видно, что в отличие от варианта 1 (рис.1) антенна симметрична относительно плоскостей XZ и YZ , благодаря чему подавляется излучение с кросс-поляризацией.

Третий вариант антенны (рис.4) представляет собой модификацию первого варианта с конфигурацией согласующих элементов второго варианта. В данном случае управление поляризацией осуществляется так же как и в первом варианте антенны (рис.1-6).



а) конструкция рамки
 б) конструкция антенны с рефлектором
 Рис. 3. Конструкция второго варианта излучателя



а) конструкция рамки
 б) конструкция антенны с рефлектором
 Рис. 4. Конструкция третьего варианта излучателя

Результаты моделирования

С целью сравнения характеристик трёх вариантов антенны была решена задача оптимизации геометрических параметров трёх вариантов антенны по максимальной полосе частот (средняя частота 420 МГц), в которой обеспечивается $K_{СВ} < 2$ в фидерной линии с волновым сопротивлением 100 Ом. В ходе оптимизации были получены размеры для первого варианта антенны: $Dz = 180$ мм, $De = 500$ мм, $D = 30$ мм, $L = 138$ мм, $Le = 120$ мм, $Ye = 88$ мм; для второго варианта: $L = 129$ мм, $Le = 117$ мм, $Ye = 75$ мм, $a = 66$ град., $Dw = 30$ мм, $Dr = 500$ мм, $Dz = 110$ мм; для третьего варианта: $Dz = 170$ мм, $De = 500$ мм, $D = 30$ мм, $L = 138$ мм, $Le = 90$ мм, $a = 85$ град., $Ye = 68$ мм; во всех вариантах антенн диаметр проводников элементов равен 8 мм. Характеристики указанных антенн для случаев возбуждения горизонтальной и вертикальной поляризации одинаковы. Различия заключаются в том, что при смене поляризации плоскости E и H меняются местами. Поэтому, далее будет рассмотрен только случай возбуждения поля с горизонтальной поляризацией. На рис.5-7 показаны результаты моделирования для первого варианта антенны, на рис.8-10 для второго, на рис.11-13 для третьего. Графики

ДН по кросс-поляризации пронормированны к максимальному уровню излучения с основной поляризацией. Для удобства сравнения трех вариантов антенн, результаты расчета электрических параметров (КНД и относительная полоса частот Δf по уровню $K_{CB} < 2$) представлены в виде таблицы 1.

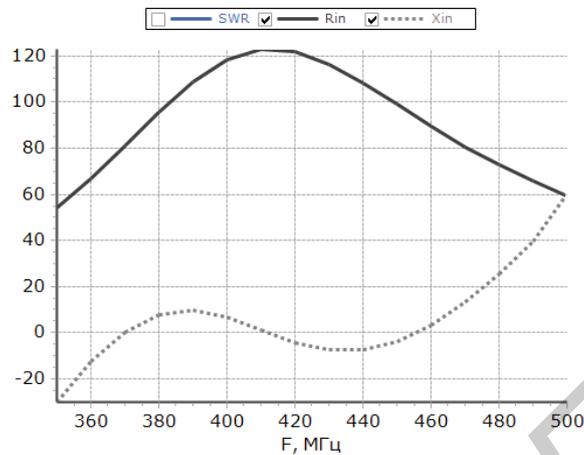


Рис. 5. Зависимость входного сопротивления от частоты для первого варианта антенны

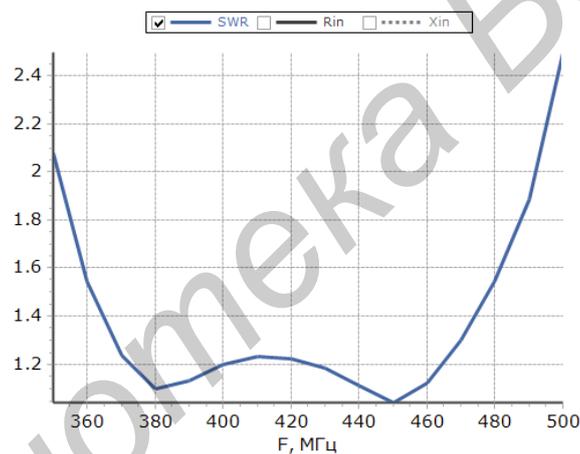


Рис. 6. Зависимость КСВ от частоты для первого варианта антенны

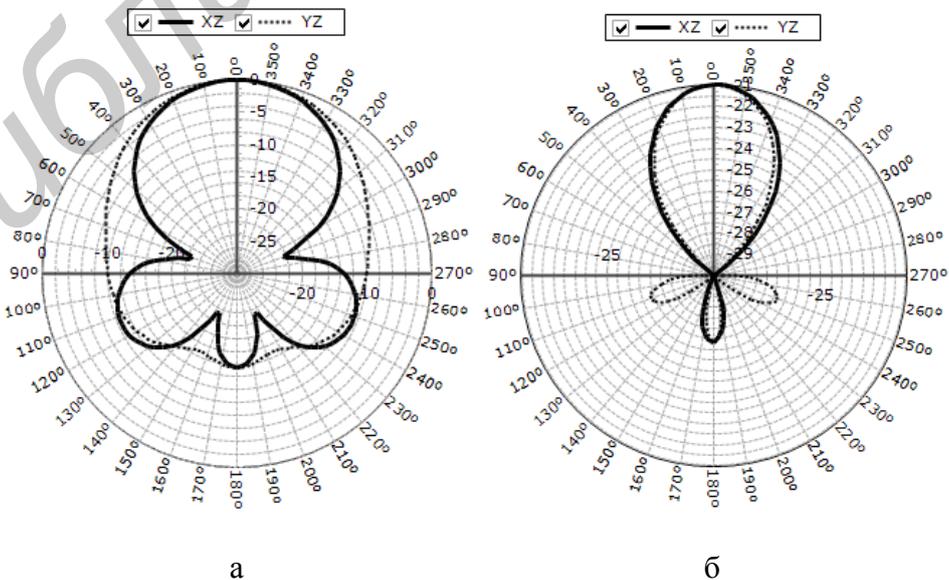


Рис.7 ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

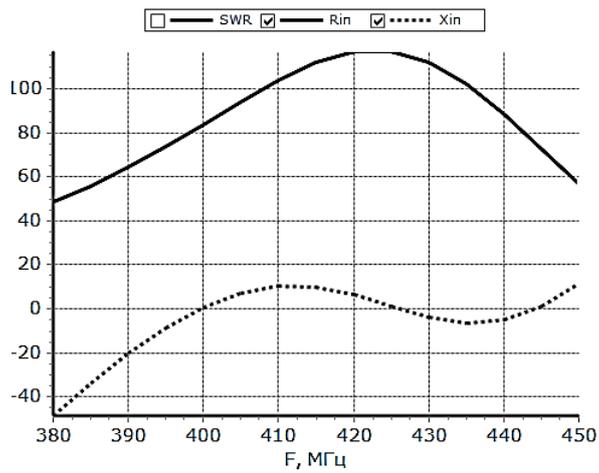


Рис. 8. Зависимость входного сопротивления от частоты для второго варианта антенны

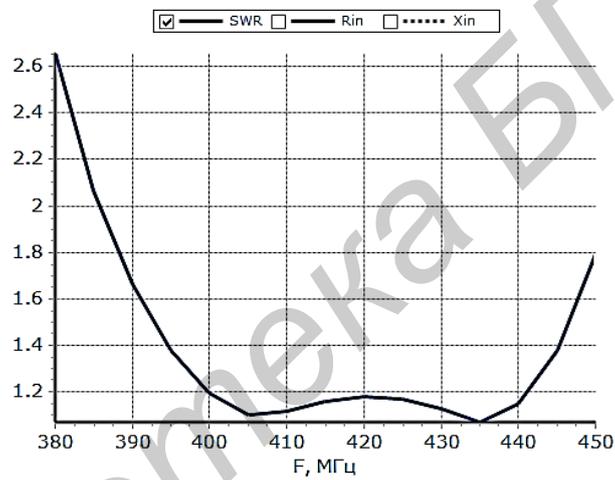


Рис. 9. Зависимость КСВ от частоты для второго варианта антенны

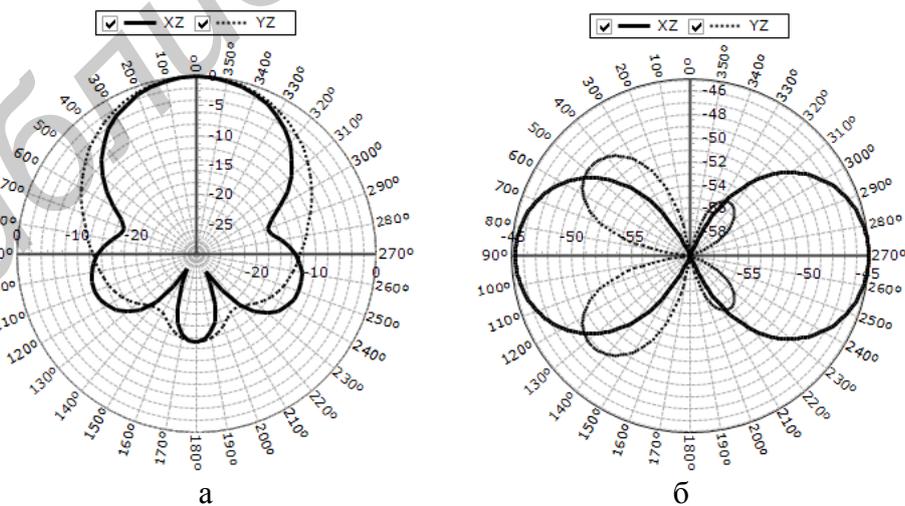


Рис.10. ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

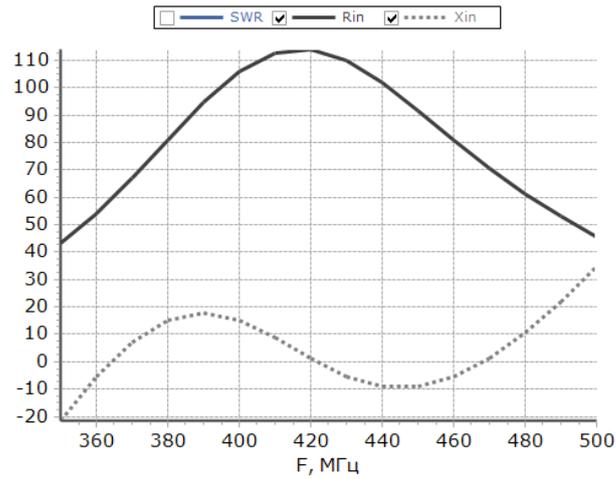


Рис. 11. Зависимость входного сопротивления от частоты для третьего варианта антенны

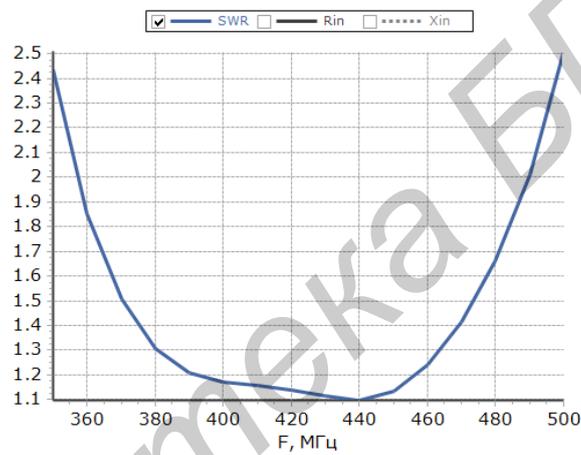


Рис. 12. Зависимость КСВ от частоты для третьего варианта антенны

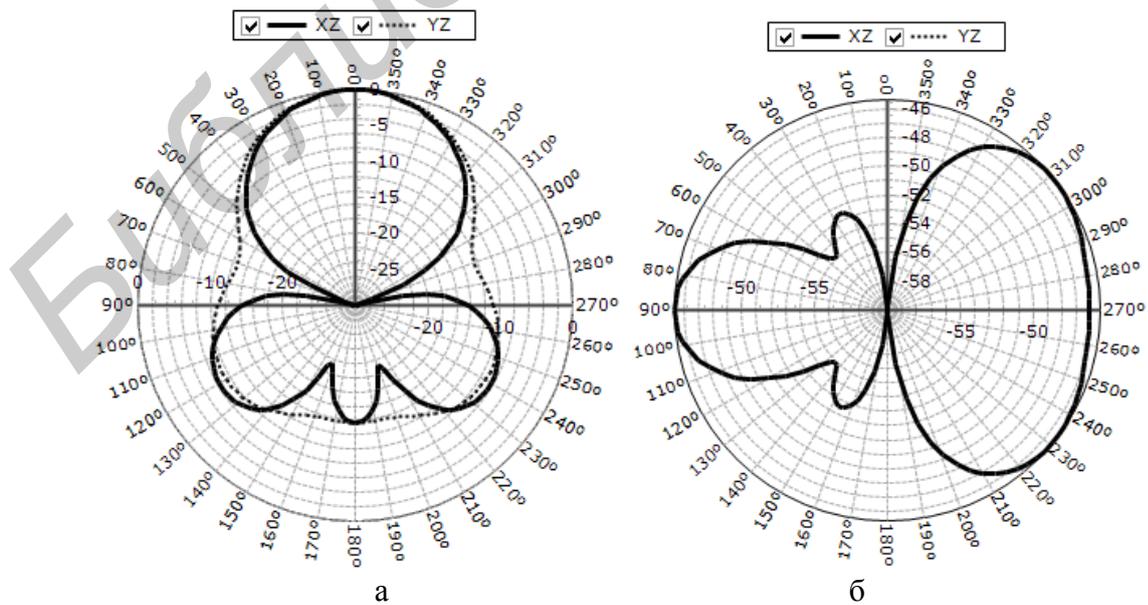


Рис.13. ДН по основной (а) и кросс-поляризации (б) на частоте 420 МГц

таблица 1 – параметры трех вариантов антенны

	КНД, дБ	Δf , % (КСВ<2)
Вариант 1	8.1	33
Вариант 2	8.6	31
Вариант 3	7.6	31

Из результатов моделирования видно: все варианты антенны обладают приблизительно одинаковой широкополосностью и КНД; варианты 2 и 3, благодаря симметричной конструкции согласующих элементов, обладают значительно меньшим уровнем излучения с кросс-поляризацией (уровень излучения с кросс-поляризацией не превышает -40 дБ), чем вариант 1 (максимальный уровень излучения с кросс-поляризацией составляет -20 дБ). Повышенный уровень заднего и бокового излучения во всех вариантах антенны обусловлен наличием металлических стоек в антенне, по которым протекает ток, данное излучение может быть уменьшено путём более точного подбора размеров рефлектора, расстояния до рефлектора и при использовании антенны в составе антенной решётки. Моделирование показало, что у всех вариантов антенны ДН почти независят от частоты в диапазоне частот с КСВ<2.

Результаты эксперимента

Для проверки результатов моделирования был изготовлен макет второго варианта антенны. В макете использованы диэлектрические стойки. Размеры антенны следующие: $L=100$ мм, $L_e=105$ мм, $Y_e=40$ мм, $a=55$ град., $D_w = 30$ мм, $D_r=500$ мм, $D_z=75$ мм; диаметр проводников элементов равен 8 мм. Расчетная и экспериментальная зависимости КСВ от частоты показаны на рис.14. Из сравнения указанных графиков видно, что диапазон частот, в котором обеспечивается КСВ<2, практически совпадает с расчетным, различия в значениях КСВ не критичны и вызваны погрешностями расчета и измерения характеристик антенны.

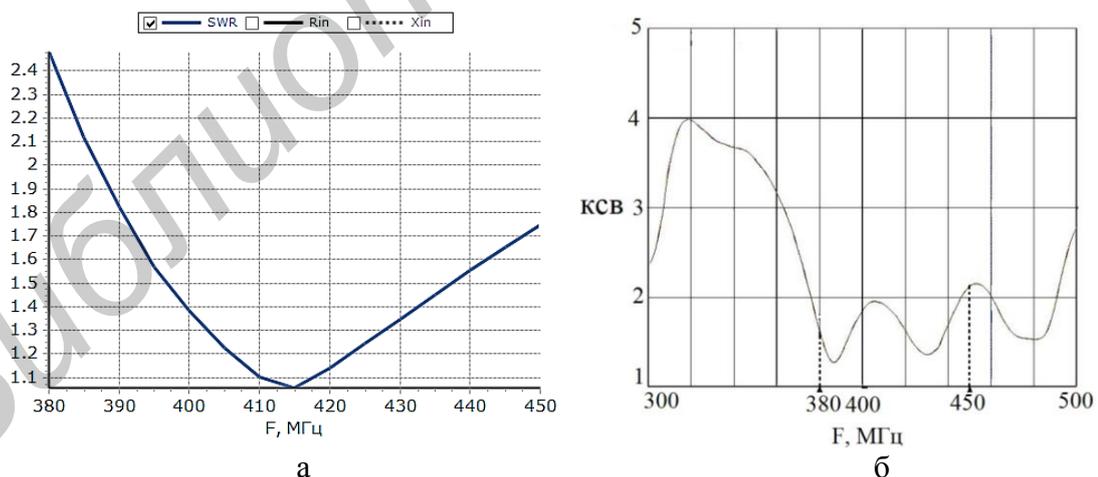


Рис.14 Расчетная (а) и экспериментальная (б) зависимости КСВ от частоты

Заключение

Исследование показало, что разработанные варианты антенн (второй и третий) с управляемой поляризацией широкополосны, обладают высоким КНД и низким уровнем излучения с кросс-поляризацией (не более -40 дБ). Показано, что предложенные варианты антенны лишены недостатков первого варианта, описанного в [4,5] и почти не уступают ему по КНД и широкополосности.

Разработанные антенны могут быть использованы в качестве самостоятельных антенн в системах радиолокации и радиосвязи, а также в качестве излучателя в антенных решетках.

Литература

1. Канарейкин, Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов/ Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. – М.: –Сов.радио. –1966. –439 с.
2. Robert J. Mailloux. Phased Array Antenna Handbook. Artech House, 2005, p.515.
3. Debatosh Guha. Microstrip and Printed Antennas: new trends, techniques, and applications. John Wiley & Sons, Inc., 2011. p.959.
4. Yurtsev O., Sadovsky I., and Ptashinsky G., “Frame Loop with Switchable Polarization,” IX International Conference on Antenna Theory and Techniques. Proceedings. Odessa, Ukraine, 2013. pp.361-363.
5. Юрцев О.А., Бобков Ю.Ю., Кеда В.В. Новая модификация рамочной антенны// Доклады БГУИР. - 2015, - №.6, - С. 30-35.
6. Вычислительные методы в электродинамике// Под ред. Р. Митры. М. 1977. – С. 494.

Сведения об авторах



Кеда Владимир Васильевич – 1992 г.р. Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), город Минск в 2014 г. Магистр технических наук – 2015. В настоящее время – аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, младший научный сотрудник ОАО «КБ Радар». Область научных интересов: антенны, антенные решетки.
E-mail: ew1bbe@mail.ru



Садовский Игорь Станиславович – 1962 г.р. Окончил Минское высшее инженерное зенитное ракетное училище ПВО (МВИЗРУ) по специальности «Радиотехнические средства» в 1984 г. Кандидат технических наук, доцент. В настоящее время – директор ОАО «КБ Радар». Область научных интересов: средства радиолокации, радио- и радиотехнической разведки и РЭБ.
E-mail: kb_radar@tut.by



Юрцев Олег Анатольевич – 1933 г.р. Окончил Минское высшее инженерное радиотехническое училище ПВО (МВИРТУ ПВО) в 1956 году. Кандидат наук – 1962 г., доктор наук – 1976 г. В настоящее время – профессор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР) город Минск, главный научный сотрудник ОАО «КБ РАДАР». Область научных интересов: антенны, устройства СВЧ, рассеяние электромагнитных волн, численное моделирование.
E-mail: yurtsev_o@mail.ru